

УДК 622.831: 622.28

д.т.н. Литвинский Г.Г.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР, ligag@ya.ru)

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ НАГРУЗКИ НА КРЕПИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

*Дан анализ изученности проблемы формирования нагрузки на крепь. Показаны последствия ошибок проектирования I и II рода. Дана классификация основных факторов, влияющих на проектирование крепи. Рассмотрен практический пример неудачного крепления подготовительной выработки. Сформулированы требования к аналитическому описанию нагрузки на крепь. Получена обобщенная формула распределения нагрузки на крепь для разных условий контакта ее с породой.*

**Ключевые слова:** крепь, деформации, пучение почвы, проектирование крепи, нагрузка на крепь, распределение нагрузки.

Структура основных фондов угольной промышленности характеризуется высоким удельным весом пассивной части (здания, сооружения и передаточные устройства), которая составляет около четырех пятых их общей величины, при этом более половины всех фондов приходится на горные выработки. Наибольшую долю занимают капитальные выработки, стоимость которых, например, на угольных шахтах составляет более 60-70% стоимости основных фондов [1].

Затраты на крепление и поддержание горных выработок составляют, в зависимости от горно-геологических и горнотехнических условий, от 50-70 до 250-300% всех затрат на их проведение. Такие большие издержки производства обусловлены развитием различных форм проявлений горного давления, которые существенно усиливаются по мере возрастания напряженности горного массива при увеличении глубины разработки. Если учесть и эксплуатационные расходы на крепление, охрану и ремонты подготовительных горных выработок, доходящие до 40-60% всех эксплуатационных затрат угольной шахты, становится понятной важность проблемы их снижения. Снижение расходов на крепление позволит существенно, во многих случаях в разы, увеличить фондоотдачу и фондорентабельность шахты, и, в итоге, резко снизить себестоимость добычи угля.

Основными причинами высокого уровня расходов следует считать недостаточно

научно обоснованные подходы при прогнозировании горного давления и обосновании способов и средств обеспечения устойчивости горных выработок.

В горной промышленности до настоящего времени крепи капитальных и подготовительных горных выработок в большинстве случаев проектируются без какого-либо прочностного расчета, а принятые ранее за образец и далеко не всегда обоснованные решения по выбору конструкций крепи и способов охраны выработок механически переносятся из одних условий в другие. В результате возникают ошибки проектирования I или II рода, которые ведут либо к неоправданному перерасходу материалов и трудовых ресурсов (ошибки проектирования I рода в 20-40% от всей протяженности выработок) или к повреждению и разрушению крепи (ошибки проектирования II рода в 25-30% выработок), что требует дорогостоящих ремонтов и перекреплений [2].

По проблеме конструирования и расчета крепи горных выработок существует достаточно обширная литература, в том числе имеется ряд обзорных и обобщающих публикаций отечественных и зарубежных авторов [3-6 и др.]. В них рассмотрено большое разнообразие подходов к решению задач выбора, проектирования и конструирования крепи.

В то же время следует отметить, что вопросы практического описания особенностей взаимодействия крепи и горного массива ос-

вещены недостаточно. Так, в частности, закономерности распределения нагрузки на крепь изучены далеко не полно, при расчете крепи принимаются заведомо упрощенные законы распределения, среди которых доминирующее положение занимают законы равномерного распределения. Именно последние ввиду их значительной простоты и вычислительной доступности чаще всего рекомендованы в нормативных документах для использования при определении деформационно-прочностных параметров крепи.

Однако такие упрощенные подходы, которые на самом деле редко реализуются при работе различных конструкций крепи в горизонтальных, наклонных и вертикальных выработках, могут приводить (и, как показывает практика, приводят) к наиболее опасным ошибкам проектирования – переоценке грузонесущей способности крепи. Поэтому исследования данного вопроса имеют не только научную, но и весомую практическую значимость.

**Цель исследования** состоит в развитии теории прочностного расчета крепи за счет теоретического обоснования обобщенного закона распределения нагрузки на крепь при ее контактном взаимодействии с окружающим массивом горных пород.

**Объектом** исследования являются условия контактного взаимодействия крепи и массива горных пород, а **предмет** исследования – теоретическое обоснование обобщенного закона распределения нагрузки на крепь со стороны горного массива.

**Основная идея** исследования состоит в использовании теоретического подхода для описания контактного взаимодействия крепи с горным массивом и обоснования достаточно удобных обобщенных зависимостей распределения нагрузки на крепь.

**Задачи** исследования состоят в следующем:

- а) провести анализ актуальности поставленной научной проблемы;
- б) дать классификацию основных влияющих на проектирование крепи горных выработок факторов;

- в) выполнить обобщение возможных форм распределения нагрузок на крепь;

- г) теоретически описать взаимодействие крепи и окружающих пород;

- д) получить обобщенную формулу закона распределения нагрузки на крепь, провести ее анализ и сделать практические рекомендации.

При проектировании крепи и способов обеспечения устойчивости горных выработок необходимо принимать во внимание и численно оценивать степень влияния многочисленных влияющих факторов, к основным из которых относятся:

1. Форма и особенности проявлений горного давления, которые формируют:

- 1.1 исходное напряженное состояние массива горных пород до проведения горной выработки;

- 1.2 концентрация напряжений в породах вокруг горной выработки и ее изменение в процессе эксплуатации;

- 1.3 прочностные и деформационные свойства породной толщи с учетом структурных неоднородностей (поверхностей контактов, параметров трещиноватости и др.) и особенностей технологии проведения выработки;

- 1.4 форма и размеры зон разрушения и смещений пород в окрестности выработки (вывалы, своды естественного равновесия, зоны запредельных деформаций и др.);

- 1.5 ожидаемые смещения породного контура выработки, величина и распределение нагрузки на крепь.

2. Принятые форма, размеры и особенности конструкции крепи, в частности:

- 2.1 форма крепи и отдельных ее элементов;

- 2.2 конструктивные и технологические зазоры между крепью и породным контуром;

- 2.3 наличие и пространственное расположение шарниров и узлов податливости, их деформационно-силовые параметры;

- 2.4 технология возведения крепи, время ввода крепи в работу, наличие предвари-

тельного распора элементов крепи в породе, неровности породного контура;

2.5 толщина и жесткость забутовки крепного пространства и др.

Как видим, необходимость учета такого большого числа влияющих факторов, роль которых меняется в зависимости от горно-геологических условий, делает задачу проектирования крепи очень сложной и неоднозначной, а успешность ее решения во многом предопределяется квалификацией и творческими способностями проектировщика. Следует подчеркнуть, что в не меньшей степени решение задачи оптимального крепления выработки зависит от технологической дисциплины и качества выполнения работ исполнителями непосредственно в забое выработки и уровня пооперационного и конечного контроля качества работ.

Сложность конструкции крепи можно проследить на примере западного конвейерного штрека лавы № 25 (25 ЗКШ) ш. Суходольская Восточная. Обращает на себя внимание необычайно мощная система крепления выработки, которая представляет собой комбинированную систему анкерной и стальной арочной крепи с усилением деревянными стойками (рис. 1, 2).

Анкерное крепление выработки осуществляется сталеполимерной анкерной крепью в кровле из 7 анкеров повышенной несущей способности диаметром  $\varnothing 25$  мм и длиной  $L = 2400$  мм под подхваты (штрипсы) длиной  $L = 2500$  мм (2 шт.).

Параметры стальной арочной крепи приняты в соответствии с расчетом, по которому выбрана арочная крепь КМП-14,6 из профиля СВП-33 с узлом податливости ЗПК. Плотность крепи составляет 2 рамы/м.

При слабых породах в почве, стойки устанавливаются на лежни или на деревянные подкладки. Между соединительными замками смежных рам забивают межрамные деревянные распорки и арку заклинивают не менее чем в пяти точках деревянными клиньями в положении, соответствующем паспорту крепления.

Затяжка кровли и боков по всему сечению выработки предусмотрена сеткой-затяжкой  $800 \times 1000$  мм с величиной ячейки  $100 \times 100$  мм. Крепление сетки-затяжки между собой осуществляют крючками. Для недопущения просыпания горной массы с боков выработки ведут установку 2-х боковых анкеров  $L = 2400$  мм с применением сетки-затяжки.

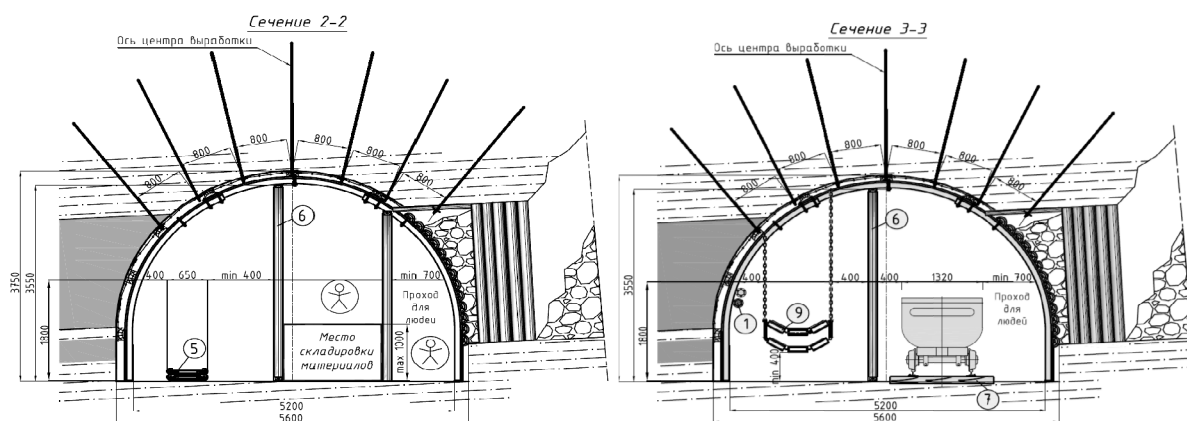


Рисунок 1 – Особенности крепления западного конвейерного штрека на ш. Суходольская-Восточная: а) в зоне сопряжения с лавой и б) после ее технологического отхода

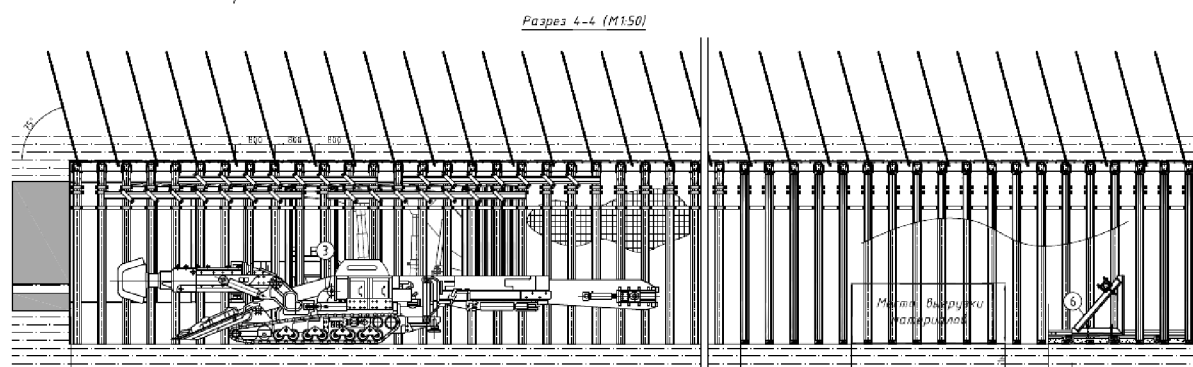


Рисунок 2 – Паспорт проведения и крепления конвейерного штрека 25 ЗКШ

Как следует из анализа горно-геологических условий, выработка находится в очень сложных ГГУ, а принятые технические решения для крепления выработки нельзя признать безошибочными.

Поскольку выработка поддерживается вслед за лавой, а пласт угля имеет сложное строение с общей средней мощностью до 2,4 м, то выработка попадает в зону интенсивного стационарного опорного давления в краевой части выработанного пространства по схеме «массив угля – обрезающая крепь – выработанное пространство».

Крепь апостериори неминуемо оказалась полностью деформирована не только на податливом участке ее деформационно-силовой характеристики, но и при работе в квазижестком режиме взаимодействия с массивом.

Общее представление о состоянии 25 ЗКШ по мере удаления от сопряжения с уклоном можно проследить по фотографиям (рис. 3). Если в начале состояние штре-

ка можно считать удовлетворительным, что объясняется наличием опоры в виде массива пород со стороны уклона, то далее с возрастанием номеров пикетов (ПК) его состояние ухудшается. На рисунке 3 видно нарастание деформаций крепи в штреке по мере удаления лавы, потеря арочной формы в виде выполаживания верхняка вплоть до обратного изгиба. Это безуспешно пытались предотвратить установкой дополнительных стоек под узлы податливости, которые из-за изгиба верхняка ломались и выключались из работы.

Состояние стоек крепи неудовлетворительно: явственно прослеживается полная потеря общей устойчивости стоек крепи (по Эйлеру) и местная потеря устойчивости стенок профиля, которая оказалась явно недостаточной, несмотря на применение спецпрофиля СВП 33. Стойки полностью потеряли несущую способность (сопротивление), что грозит завалом выработки

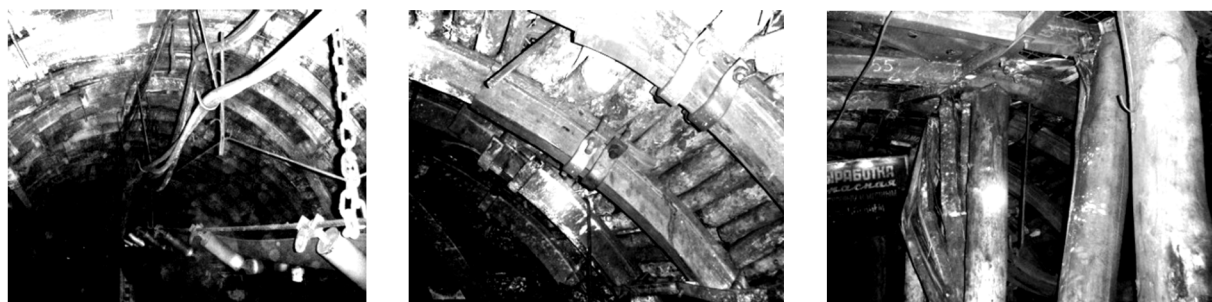


Рисунок 3 – Общий вид крепи 25 ЗКШ по мере удаления от уклона

На рисунке 4 можно наблюдать ухудшение состояния верхняков арочной крепи КМП в штреке 25 ЗКШ. На первом фото представлена типичная картина наклона рамы вдоль выработки после ее деформации в виде разрывов днища спецпрофилей и потери его общей и местной устойчивости. Такие рамы обладают ничтожной несущей способностью и представляют угрозу для горнорабочих из-за возможного внезапного обрушения пород в горную выработку.

Приведенный пример наглядно показывает ошибки при проектировании крепи и последствия в виде разрушения выработки, к которым они приводят.

Как же описать наиболее целесообразным образом распределение нагрузки на крепь, чтобы учесть все возможные варианты ее взаимодействия с массивом в процессе работы?

Для этого сформулируем основные требования, которым должна отвечать обобщенная искомая зависимость:

- соответствовать физической модели взаимодействия крепи с породой;
- быть теоретически обоснованной;
- охватывать в единой математической формуле все многообразие возможных распределений нагрузок по крепи от сосредоточенной силы до равномерной, от выпуклой до вогнутой эпюры распределения;
- быть простой и доступной для вычислений при расчете крепи.

На первом этапе рассмотрим физическую модель контакта крепи и породы.

Опыт применения крепи различных конструкций свидетельствует о том, что даже при использовании эффективных средств обеспечения контактного взаимодействия крепи и массива пород (забутовка, тампонаж, предварительный распор и др.) обеспечить равномерное распределение нагрузки на крепь не удастся из-за неровностей контура и его неравномерных смещений.

Можно с достаточно высокой степенью обоснованности утверждать, что повсеместно принятые в проектной практике расчеты крепи на равномерно распределенную нагрузку не соответствуют реально наблюдаемому взаимодействию крепи с массивом пород, чем значительно завышают прогнозируемую несущую способность крепи. По сути, такие расчеты имеют условный характер и дезориентируют проектировщиков и производителей при выборе параметров крепи, переоценивая ее прочность и надежность.

Вопрос о распределении нагрузки по периметру крепи приобретает особую важность не только с точки зрения правильного распределения усилий в конструкции рамы, но и для выбора прочностных показателей межрамных ограждений. Если известны участки крепи с повышенной интенсивностью нагружения, то, установив на них более прочную затяжку, можно обеспечить более высокую надежность крепи.



Рисунок 4 – Деформации верхняков рамной крепи КМП: разрывы сплошности, потери продольной устойчивости и скручивания профиля

На первом этапе нагрузка формируется лишь на узком участке периметра крепи в окрестности точки первичного касания пород. Затем по мере возрастания нагрузки и прогиба нагруженного элемента крепи этот участок расширяется, а форма распределения нагрузки изменяется от почти сосредоточенной силы в сторону более равномерной эпюры. Даже при самых благоприятных условиях нагружения (точное оконтуривание выработки, равномерная забутовка, идеальное соблюдение технических требований по установке крепи и т. д.) нельзя ожидать равномерного распределения нагрузок на крепь.

В процессе развития проявлений горного давления породы смещаются в выработку, как правило, по нормали к напластованию и крайне неравномерно – максимально в середине пролета кровли (или почвы) и далее уменьшаются по мере удаления от центра пролета.

Для изучения особенностей формирования нагрузки на крепь в процессе ее контактного взаимодействия с массивом рассмотрим следующую расчетную схему (рис. 5). Участок крепи, подверженный активному нагружению  $p$  и смещающийся внутрь выработки, называют зоной "отлипания", а его размер зависит от свойств пород, забутовки закрепного пространства и деформационных показателей верхняка рамы.

За меру контакта может быть принят угол  $\beta$  ( $-90^\circ < \beta < 90^\circ$ ), показывающий угловую координату двух границ участка контакта (в радианах или в градусах) от нормали из центра выработки к напластованию пород в кровле:

$$p = \arccos[1 - (U_C + U_K + U_3)/R_B], \quad (1)$$

где  $U_C$  – деформации смятия пород на участке контакта с крепью, м;

$U_K$  – прогиб крепи под нагрузкой, м;

$U_3$  – податливость забутовки на участке контакта "рама-кровля", м;

$R_B$  – радиус верхняка крепи, м.

Сущность уравнения (1) становится достаточно ясна из следующих рассуждений. Если система "крепь-забутовка-породный массив" абсолютно жесткая, что можно характеризовать одновременным выполнением условия  $U_C = U_K = U_3 = 0$ , то участок контакта предельно мал ( $p = 0$ ) и на крепь действует в точке контакта с породами сосредоточенная нагрузка. Такой случай можно зачастую наблюдать, когда арочную крепь устанавливают под "плоскую" кровлю без забутовки. По мере увеличения прогибов верхняка крепи и податливости забутовки участок контакта расширяется и в пределе может составить прямой угол ( $\beta = \pm \pi/4$ ).

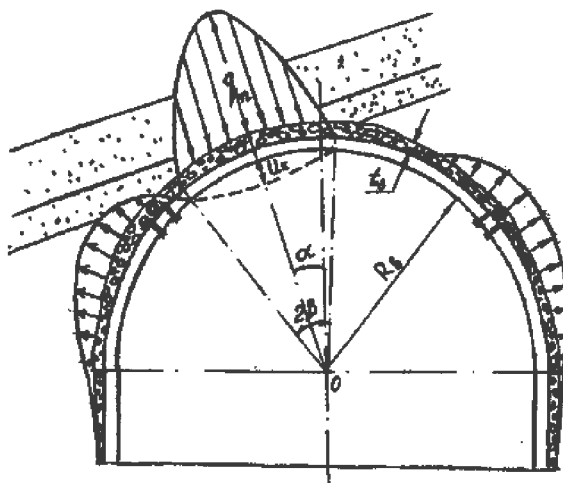


Рисунок 5 – Распределение нагрузки на раму арочной крепи

Деформация смятия пород  $U_C$  на участке контакта с верхняком зависит от их прочности, показателей деформативности и пластичности, степени развития трещин разрыва сплошности (расслоения) вдоль напластования пород, что осредненно характеризуют коэффициентом разрыхления. Чем больше прочность и жесткость породы, тем меньше влияние этого показателя на деформацию смятия  $U_C$ . Коэффициент разрыхления пород при их смещении в выработку изменяется в зависимости от напряжений,

действующих в породе, и, на последних стадиях ее разрушения, от реакции (отпора) крепи. Если крепь работает в режиме линейно возрастающего сопротивления, то трещины расслоения, концентрация которых максимальна у контура по нормали к напластованию пород, начинают смыкаться, создавая эффект смятия и снижения коэффициента разрыхления. При этом происходит уменьшение прогиба пород в выработку и снижение неравномерности нагружения крепи. На практике реальные крепи отклоняются от строгого режима линейно возрастающего сопротивления, поэтому можно считать, что при исчерпании податливости и переходе к жесткому режиму эффект смятия проявляется еще отчетливее.

Взаимодействие податливой крепи с массивом в режиме заданного нагружения, когда коэффициент жесткости равен или близок к нулю, отличается более плавным изменением параметров разрыхления пород окружающего массива. Если режим работы крепи характеризуется падающим (запредельным) участком, т. е. когда ее отпор по мере развития смещений начинает снижаться (коэффициент жесткости отрицательный), следует ожидать заметного увеличения раскрытия трещин, повышения коэффициента разрыхления и, соответственно, неравномерности нагрузки на крепь. Учитывая то обстоятельство, что в реальных конструкциях податливой крепи при работе узлов податливости ее отпор изменяется скачками, можно прогнозировать примерно такого же характера изменения трещиноватости пород в массиве во времени. Шахтные инструментальные наблюдения подтверждают периодическое (скачкообразное) изменение раскрытия трещин в процессе взаимодействия крепи с массивом [7].

Прогиб  $U_K$  верхняка крепи можно учесть расчетными методами строительной механики как элемент рамы под действием активной нагрузки на участке кон-

такта  $2\beta$  (см. рис. 5). При этом следует принять во внимание кинематические ограничения смещений крепи на тех участках периметра, где обеспечен контакт с породным контуром и возникает пассивный отпор пород. Естественно, такая постановка задачи приводит к необходимости учета нелинейного характера взаимодействия крепи и массива, однако при наличии современных ЭВМ это не представляет особой сложности. Основное затруднение при этом состоит в определении исходных показателей по оценке плотности и отпорных характеристик забутовки закрепного пространства.

Главную деформационно-силовую характеристику забутовки дает ее компрессионная кривая, устанавливающая связь между давлением и уплотнением материала:

$$q = \sigma_0 \left[ \frac{U_3}{\varepsilon_0 t_3 - U_3} \right]^n, \quad (2)$$

где  $q$  – давление на забутовку, Па;

$\sigma_0$ ,  $\varepsilon_0$ ,  $n$  – параметры компрессионной кривой забутовки, определяемые экспериментально;

$U_3$  – смещение поверхности забутовки, м;

$t_3$  – толщина забутовочного слоя, м.

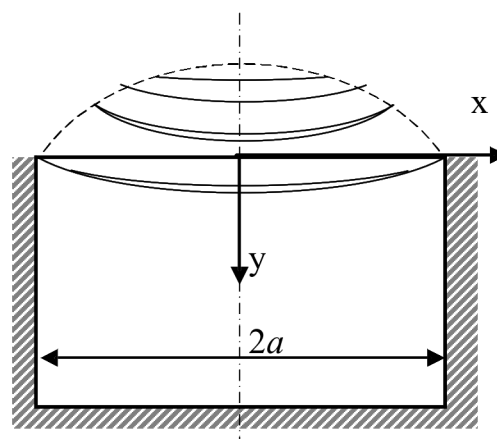


Рисунок 6 – Расчетная схема смещений пород кровли

Зависимость (2) достаточно удовлетворительно описывает поведение раздробленных материалов до момента начала разрушения отдельных кусков в точках контакта. Для определения входящих в уравнение (2) параметров компрессионных свойств забутовки достаточно произвести сжатие под прессом заданного слоя забутовки из пород реального фракционного состава. Повышая ступенями нагрузку, необходимо фиксировать абсолютные смещения плиты прессы, что позволяет построить эмпирические графики  $q = f(U_3)$ . Обработав их методом наименьших квадратов, определяют параметры  $\sigma_0$ ,  $\varepsilon_0$ ,  $n$ .

Рассмотрим расчетную схему смещений пород в кровле, которая соответствует прогибу слоистых пород (рис. 6).

Такой характер прогибов будет формировать соответствующее распределение нагрузки на крепь: по мере удаления от центра выработки угол наклона прогибов возрастает, а нагрузка на крепь снижается, что можно записать следующим дифференциальным уравнением:

$$\frac{dy}{dx} = -\frac{C_1}{m-1} x^{m-1}, \quad (3)$$

где  $y$  – смещения кровли выработки;  
 $x$  – расстояние от оси симметрии;  
 $m$  – коэффициент формы смещений.

Решением этого уравнения будет:

$$y = -C_1 x^m + C_2, \quad (4)$$

где  $C_1$  и  $C_2$  – постоянные, которые определяем из граничных условий:

$$\frac{dy}{dx} = 0 \text{ при } x = 0 \text{ и } y = 0$$

$$\text{при } x = a, \quad (5)$$

после чего уравнение примет вид:

$$y(x) = y_0 \left( 1 - \left| \frac{x}{a} \right|^m \right), \quad (6)$$

где  $y_0$  – максимальный прогиб пород при  $x = 0$ .

Если предположить, что распределение нагрузки на крепь будет аналогичным распределению смещений породного контура (6), то получим подобную формулу в виде:

$$q(\xi) = q_0 \left( 1 - \left| \frac{\xi}{\xi_0} \right|^m \right), \quad (7)$$

где  $q_0$  – математическое ожидание максимума нагрузки в центре участка контакта при  $\xi = \xi_0$ , кПа;

$\xi$  – расстояние в обе стороны от точки максимума приложения нагрузки  $\xi_0$ ;

$m$  – показатель формы нагрузки, т. е. распределение нагрузки на участке контакта "крепь-массив":

для сыпучих пород  $m \rightarrow 0$  (равномерно распределенная нагрузка),

для монолитных пород  $m \rightarrow \infty$  (сосредоточенная нагрузка),

для обычных условий  $m = 0,5 \dots 3$ .

Такая зависимость оказывается весьма близкой к реальной и позволяет описать достаточно широкий диапазон условий взаимодействия крепи с массивом. Чем более жесткий режим сопротивления крепи и прочнее порода, тем более неравномерно распределяется нагрузка на участке контакта с породой (рис. 7).

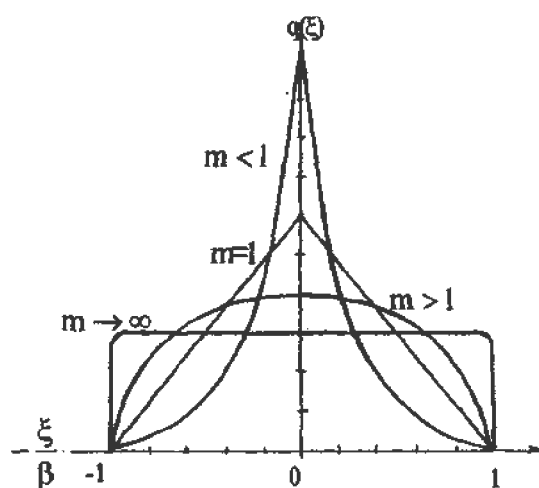


Рисунок 7 – Формы распределения нагрузки на участке контакта крепи с массивом пород



Чтобы определить значения максимума контактного давления  $q_m$ , воспользуемся деформационно-силовой характеристикой крепи в податливом режиме работы. В частности, при наступлении стадии податливости несущая способность рамной крепи предопределяется суммарным сопротивлением сдвигу спецпрофилей в узлах податливости и не может быть больше него.

Полученная формула может быть использована не только для прямолинейных элементов или участков крепи, но и для крепи с произвольным контуром. Для этого следует несколько видоизменить представление обобщенной зависимости с учетом новых координат. Например, для арочной рамной крепи с полуциркульным сводом уравнение (7) примет вид:

$$q(\varphi) = q_m \left( 1 - \left| \frac{\varphi}{\varphi_0} \right|^m \right), \quad (8)$$

где  $\varphi$  – угловое расстояние от точки максимума приложения нагрузки, в которой  $\varphi = \varphi_0$ .

В самом общем случае, если внешняя нагрузка на крепь имеет более сложную форму распределения, которая складывается из сочетаний сосредоточенных сил и разных законов распределения, то ее можно будет описать суперпозицией нагрузок (7) или (8):

$$q(\phi) = \sum_{i=1}^n q_{0i} \left( 1 - \left| \frac{\phi}{\phi_{0i}} \right|^{m_i} \right), \quad (9)$$

где  $1 \leq i \leq n$  – число участков крепи с различным распределением внешней нагрузки;

$q_{0i}$ ,  $\phi_{0i}$ ,  $m_i$  – соответственно максимум нагрузки, координаты границы и показатель формы нагрузки на каждом  $i$ -том участке.

Формирование нагрузки на крепь во многом зависит и от условий задания от-

пора крепи по ее периметру. Особенно часто встречаются случаи, когда на породный контур действует нагрузка в виде одной или нескольких сосредоточенных сил, например, отдельно стоящих стоек или анкеров с предварительным распором.

Устойчивость породного контура при этом будет зависеть от прочности породного слоя и условий передачи усилий от стойки (анкера) на породу. Расчетная схема такой задачи будет близка к породной плите, заделанной по двум противоположным краям и опертой на равномерно расположенные опоры. Установленные под плиту опоры (анкеры или стойки) уменьшают свободный пролет и за счет такой опоры появляется дополнительная неразрезная конструкция, значительно повышающая жесткость и несущую способность породной плиты.

Предварительные оценки показывают, что установка только одной опоры, например, стойки по центру выработки, позволяет за счет уменьшения пролета в 2 раза снизить максимальные моменты в 4 раза, а учитывая изменения условий опирания породной плиты на опору, – еще в 1,8 раза. Суммарно установка только одной такой стойки позволяет повысить устойчивость породного пролета в кровле или почве в 7-8 раз.

Во столько же раз снижается вероятность разрушения и выдавливания слоистых пород в кровле или почве в виде продольно-поперечного изгиба слоев (феномен «пучения»). Такой же эффект на устойчивость породной плиты в кровле выработки оказывают и установленные анкера, кратно уменьшая свободные пролеты кровли и существенно меняя условия ее опирания.

Тем самым получает объяснение давно установленный на практике факт существенного повышения устойчивости горной выработки за счет установки дополнительного ряда стоек по ее центру. Такой способ особенно широко применяется в практике охраны подготовительных горных выработок, примыкающих к фронту очистных работ, где проявления горного давления оказываются непреодолимо интенсивными.

К числу недостатков способа борьбы с негативными последствиями (апостериори) проявлений горного давления за счет установки стоек следует отнести неизбежное уменьшение габаритных размеров в сечении горной выработки.

Тем не менее, знание закономерностей распределения нагрузки на крепь позволяет выбрать наиболее эффективную систему противодействия горному давлению, причем, среди разных альтернатив серьезным преимуществом обладает система крепления с центральной стойкой. В таком креплении полностью реализуется идея использования противодействия друг другу давлений и смещений кровли и почвы. Эта идея заслуживает серьезного внимания при конструировании новых типов податливых стоечных крепей.

#### Выводы.

Анализ состояния вопроса показал, что крепи горных выработок проектиру-

ются без прочностных расчетов, что приводит к ошибкам проектирования I или II рода. Дан пример, демонстрирующий негативный опыт крепления.

Разработаны требования, которым должна отвечать формула для описания распределения нагрузки на крепь. Впервые дано исходное дифференциальное уравнение и получена обобщенная формула, охватывающая большинство возможных случаев распределения нагрузки на крепь. Рассмотрены условия формирования нагрузки по периметру крепи.

Практическое значение полученных результатов состоит в том, что можно обоснованно выбирать наиболее эффективную крепь в зависимости от ожидаемой формы распределения внешней нагрузки.

Задачей дальнейших исследований будет разработка алгоритмов расчета различных конструкций крепи с учетом закономерностей формирования нагрузки на крепь.

#### Библиографический список

1. [http://www.coal.in.ua/vosstanovlenie\\_donbassa/razvitie\\_jekonomiki\\_ugolnoj\\_promyshlennosti/634-shaxtnyj-fond-osnovnye-i-oborotnye-sredstva.html/](http://www.coal.in.ua/vosstanovlenie_donbassa/razvitie_jekonomiki_ugolnoj_promyshlennosti/634-shaxtnyj-fond-osnovnye-i-oborotnye-sredstva.html/)
2. Литвинский Г.Г. Стальные рамные крепи горных выработок / Г.Г. Литвинский, Г.И. Гайко, Н.И. Кулдыркаев. — К. : Техника, 1999. — 216 с.
3. Давыдов С.С. Расчет и конструирование подземных конструкций / С.С. Давыдов. — М. : Стройиздат, 1950. — 376 с.
4. Булычев Н.С. Расчет крепи капитальных горных выработок / Н.С. Булычев, А.З. Амусин, А.Г. Оловянный. — М. : Недра, 1974. — 320 с.
5. Antoni Tajdus, Marek Gala, Krzysztof Tajdus. Geomechanika w budownictwie podziemnym. — Krakow : AGH, 2012. — 762 p.
6. Jovanovic P. Projektovanje i proracun pograda podzemnih prostora / Petar Jovanovic. — Beograd: Rudarsko-geoloski fakultet Unniverziteta u Beogradu, 1994. — 436 p.
7. Заславский Ю.З. Расчеты параметров крепи выработок глубоких шахт / Ю.З. Заславский, А.Н. Зорин, И.Л. Черняк. — К. : Техника, 1972. — 156 с.

*Рекомендована к печати д.т.н., проф. ДонНТУ Борщевским С.В.*

*Статья поступила в редакцию 15.05.16.*

**д.т.н. Литвинський Г.Г. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)**

#### **ЗАКОНОМІРНОСТІ ФОРМУВАННЯ НАВАНТАЖЕННЯ НА КРІПЛЕННЯ ПІРНИЧИХ ВИРОБОК**

*Надано аналіз вивченості проблеми формування навантаження на кріплення. Показані наслідки помилок проектування I і II роду. Дана класифікація основних факторів, що впливають на проектування кріплення. Розглянуто практичний приклад невадлого кріплення підготовчої ви-*

бки. Сформульовано вимоги до аналітичного опису навантаження на кріплення. Отримано узагальнену формулу розподілу навантаження на кріплення для різних умов контакту її з породою.

**Ключові слова:** кріплення, деформації, здимання підлоги, проектування кріплення, навантаження на кріплення, розподіл навантаження.

**PhD Litvinskiy G.G. (DonSTU, Alchevsk, LPR)**

#### **REGULARITIES OF LEG LOAD FORMATION OF MINE WORKING**

*Analysis of the studied problem of leg load formation is given. Outcomes of design faults of the I and II types are shown. The classification of main factors influenced on lining design is given. The practical example of failed fastening of preliminary development has been studied. Requirements for analytical description of leg load have been stated. The generalized formula of leg load distribution is calculated considering different contact conditions with rock.*

**Key words:** lining, deflections, floor heaving, lining design, leg load, load distribution.